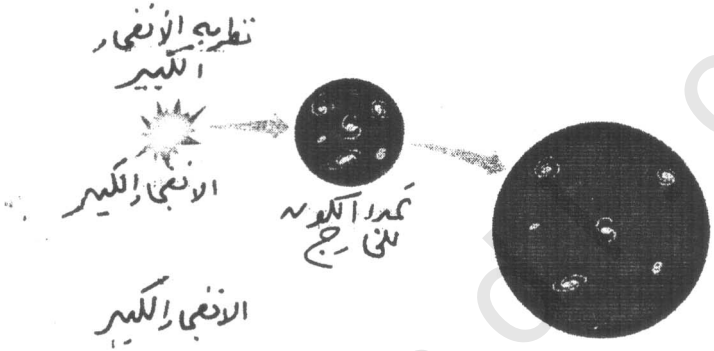
الباب الرابع
عمر الكون

بدراسة التاريخ السابق لهذه الحركات يمكن تعيين عمر الكون فإذا أرجعنا للخلف جميع الحركات التى تبينها الازاحات الحمراء فإن جميع المجرات سوف تدرك تقريبا نفس النقطة من الفراغ وحيث أن أجساما على بعد ميجا بارسك (مليون بارسك وفى البارسك ٣ × ١٠ ^{١٣} كيلو متر) تبتعد عن بعضها بسرعة مقدارها ١٠٠ كيلو متر فى الثانية (ثابت هيل) فيمكننا تقدير عمر الكون (زمن هبل) بفرض أن هذه السرعة ثابتة وحيث أن الميجا بارسك ٣ × ١٠ ^{١٩} كيلو متر فإن عمر الكون ٣ × ١٠ ^{١٩} / ١٠٠ = ٣ × ١٠ ^{١٧} ثانية أى حوالى ١٠ ^{١٠} سنة وهذه القيمة قريبة من عمر أقدم نجوم التبانة والعمر الحقيقى المحسوب من ثابت هبل يعتمد على عدد التأثيرات التفصيلية مثل احتمال انخفاض معدل التمدد منذ ميلاد الكون بالإضافة إلى ذلك فإن قيمة ثابت هبل يمكن تعديلها بزيادة الأرصاد وقد نذكر الأعمار من ١٠ بليون إلى ٢٠ بليون سنة.

وعلى ذلك وتبعًا للانفجار الكبير يكون الكون قد نشأ نتيجة انفجار تركيز واحد للمادة من حوالى ١٠ ^{١٠} سنة مضت والذى بدأ التمدد المستمر الذى نراه الآن فى الإزاحات الحمراء للمجرات وبعض الهليوم الموجود اليوم فى النجوم يكون قد تكون نتيجة التفاعلات النووية التى حدثت فى كرة النار الكثيفة، إن الانفجار الكبير قد سبب اندفاعًا صحيحًا للفوتونات وأن هذه الفوتونات المزاحة نحو الأحمر نتيجة تمدد الكون يمكن رصدها فى الأزمنة الحالية كفوتونات موجات راديو وتعتبر ذلك أحسن التفسيرات الحالية لإشعاع الخلفية ٣° مطلقة.

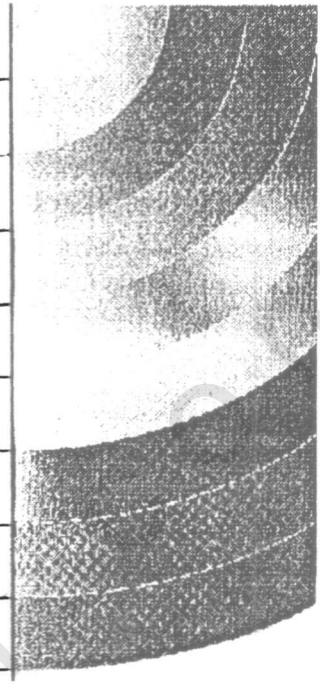
ماذا يحمل المستقبل للكون! وهل يظل الكون مستمرًا فى التمدد إلى الأبد كما يفعل الآن؟ أم يتوقف ويصل إلى حالة الاستقرار؟ بل وهل يمكن أن يبدأ فى التقلص مرة أخرى؟ أن العلماء يحاولون التنبؤ بمستقبل الكون.

أن الكون مستمر فى التمدد منذ لحظة الانفجار العظيم، فالمجرات تندفع متباعدة بعضها عن بعض بسبب القوى التى اكتسبتها عند الانفجار العظيم الذى دفع بالكون كله إلى الحركة. انظر شكل الانفجار الكبير الساخن



رسما تخطيطيا للانفجار الأعظم وتوسع الكون

مرحلة مبكرة وأخرى متقدمة من مراحل الانفجار الأعظم



- مفردة الانفجار الكبير. - عصر بلانك. قوانين فيزياء مجهولة وغريبة.	
- حقبة النظرية الموحدة الكبرى. توازن المادة/ مضاد المادة يحسم ميزان المادة.	١٠ - ٤٣ ثانية
- العصر الإلكتروني الضعيف تحكمه الكواركات ومضادات الكواركات.	١٠ - ٣٥ ثانية
- عصر الهادرون واللبتون. الكواركات تتقيد في تشكيل البروتونات والنيوترونات والميزونات والباريونات.	١٠ - ١٠ ثانية
- البروتونات والنيوترونات تتحد كنوى هيدروجين وهيليوم وليثيوم وديتريوم.	ثانية واحدة
- اقتران المادة والإشعاع معا وتشكيل أول نوى مستقرة.	٣ دقائق
- اقتران المادة والطاقة. الكون الكثيف بصريا يصبح شفافا لإشعاع الخلفية الكوني.	٣٠٠ ألف سنة
- تشكل الاحتشادات العنقودية للمادة كوازارات ونجوم ومجرات أولية. تأخذ النجوم في تكوين نوى أثقل.	١٠٠٠ مليون سنة
- تتكون مجرات جديدة بها منظومات شمسية تتكشف حول النجوم. تترابط الذرات لتكون الجزيئات المركبة لأشكال الحياة.	١٥٠٠ مليون سنة

الانفجار الكبير الساخن

إذا كانت نظرية النسبية العامة صحيحة، يكون الكون قد بدأ بحرارة وكثافة لا نهائيتين عند مفردة الانفجار الكبير، ومع تمدد الكون، أخذت حرارة الإشعاع تقل. وعند زمن يقرب من جزء من مائة من الثانية بعد الانفجاء الكبير، تكون درجة الحرارة قد وصلت إلى مائة بليون درجة، ويحوى الكون عندها فى الغالب فوتونات وإلكترونات وجسيمات نيوترينو (جسيمات خفيفة أقصى الخفة). وكذلك الجسيمات المضادة لها، ومعها بعض بروتونات ونيوترونات. وخلال الدقائق الثلاث التالية يبرد الكون إلى حوالى بليون واحد من الدرجات، فتبدأ البروتونات والنيوترونات فى الاتحاد لتشكل نوى هيليوم وهيدروجين وعناصر أخرى خفيفة.

بعد ذلك بمئات الآلاف من السنين تنخفض الحرارة إلى آلاف معدودة من الدرجات، وعندها تكون الإلكترونات فقد أبطأت إلى الحد الذى تمسك عنده النوى الخفيفة بتلك الإلكترونات لتشكل الذرات، أما العناصر الأثقل التى صنعنا منها نحن، مثل الكربون والأكسجين، فهى لا تتشكل إلا بعد ذلك ببليون سنة نتيجة احتراق الهيليوم فى مركز النجوم.

صورة وجود طور مبكر كثيف ساخن للكون طرحها لأول مرة العالم جورج جاموف ١٩٤٨م، وذلك فى ورقة بحث كتبها مع رالف ألفر، وردت بها نبوءة رائعة، وهى أن الإشعاع من هذا الطور المبكر الساخن جدًا ينبغى أن يكون مازال موجودًا الآن من حولنا. وقد تأكدت هذه النبوءة عندما رصد الفيزيائيان آرنو بنزياس وروبرت ويلسون إشعاع خلفية الكون الميكروويفية.

ولكن كل كوكب ونجم ومجرة له قوة الجاذبية الخاصة به والتى تحاول جذب كل المادة فى الكون لتتحد معا مرة أخرى أى هناك قوتين متعارضتين.

ويحاول العلماء معرفة أى هذه القوى أكبر من الأخرى مستقبل الكون سيكون مرهونا بها، فلو أن قوى التمدد هى الأكبر فإن الكون سيستمر فى التمدد إلى الأبد..

وكلما تمدد انخفضت حرارته أى أن الكون سيتحرك إلى أسفل كالساعة نحو النهاية المظلمة الباردة والميتة التى تنتظره، أما إذا كانت المادة فى الكون كثيفة بدرجة كافية فربما أصبحت الجاذبية – يوما ما – قادرة على التغلب على قوى التمدد، أى أن الكون يستطيع التوقف عن التمدد وينكمش بالفعل فى عكس الاتجاه الذى سلكه منذ الانفجار العظيم حتى يصل إلى "الانسحاق العظيم" وقد يؤدى هذا إلى انفجار عظيم آخر ومولد كون وربما كان الكون يتأرجح ما بين انفجار عظيم إلى "انسحاق عظيم" ثم إلى انفجار عظيم جديد وهكذا طوال الوقت إلى أن يقضى الله أمرا كان مفعولاً.

أن مستقبل الكون معلق على درجة كثافته. والكثافة يمكن قياسها – كما نعلم – بمعرفة شيئين هما الكتلة والحجم. وعندما يقدر الفلكيون المادة فى الكون فإن القيمة الناتجة تكون أقل بكثير عن القيمة السحرية التى يطلق عليها "الكثافة الحرجة" التى يمكن أن توقف التمدد الأبدى للكون. وهل يمكن أن تكون تقديرات الفلكيين للكثافة خاطئة بشكل فادح.

والآن يعتقد الفلكيون فى وجود مزيد من المادة فى الكون والتى لم يتمكنوا بعد

من العثور عليها. ولو أن هناك ما يكفى من هذه المادة المعتمة فقد يكون فيها سر مستقبل الكون. بل إن بعض الفلكيين يعتقد أن ما يصل إلى ٩٠٪ من مادة الكون قد يكون على هيئة هذه المادة المعتمة ولكن هل يستطيع الإنسان أن يجد مادة لا يراها؟ فالفجوات السوداء خفيفة وإن كانت المادة تسقط فيها فتشع طاقة تستطيع رصدها ونحن على الأرض وبالطريقة نفسها فإن الفلكيين على الرغم من عدم مقدرتهم رؤية المادة المعتمة قادرون على البحث على آثارها.

أن لسحب المادة المعتمة جاذبية ولذا فتأثير تلك الجاذبية فى الأجرام القريبة لابد وأن يكون محسومًا وهناك بعض الأدلة على أن المجرات الواقفة عند حافة "درب التبانة" تتصرف، وكأن هناك أجرامًا ضخمة بعيدة جدًا تقوم بجذبها، ولما لم يكن هناك شيء مرئى فقد تكون القوة الغامضة ناتجة عن سحب المعتمة الواقعة حول درب التبانة ولقد اقترحت النظرية العامة للنسبية التى وضعها اينشتين أن قوى الجاذبية قد تثنى أيضًا الأشعة الضوئية وقد أوحى هذا للفلكيين بفكرة عن كيفية البحث عن المادة المعتمة فى أعماق الفضاء فيما بين المجرات. فلو أن الضوء الصادر من جرم بعيد ولكنه شديد اللمعان مثل "الكوازار" يمر قريبًا من عنقود من المجرات التى تحتوى فيما بينها لهذا فإن صورة الكوازار البعيد قد تتشوه أو تتضخم وقد سمى هذا التأثير بعدسة الجاذبية. أن الدراسات المتعلقة بهذه العدسات لابد وأن تمد الفلكيين بصورة أكثر أحكامًا عن مقدرا المادة المعتمة. كما تساعد هم على التنبؤ.

لتحديد عمر أى لبنة من لبنات الكون يتعين علينا أن نعين سرعة التفتت التى تنتاب لبنة من اللبنات وأنه لمعروف أن النجوم تستهلك مادتها تدريجيًا. وأن النجوم المزدوجة تبتعد عن بعضها البعض بتأثير الجذب العام للمجرة. وأن الحشود النجمية تخضع لتأثير نفس هذه القوى التى تعمل على تغيير أوضاعها وتبديل حالتها، كما تخضع لتأثير الحركات النسبية للمجرة التى تحتويها... فالواقع أن المجرات فى أثناء حركاتها التدويمية إنما تعمل على تمزيق مادتها.

أن النجوم قد تتغير تغيرًا ملحوظًا بينما التركيب الكيماوى للكون لم يتغير تغيرًا يذكر.

حقيقة أخرى يجب أن نأخذها فى الاعتبار عندما نتعرض لمثل هذه المشكلات إلا وهى أن جميع النجوم تستهلك أيدروجينها وتحوله إلى هيليوم وهى عملية يلوح أنها تشير فى اتجاه واحد سيرا مطردًا حازمًا أى أن الايدروجين يتحول إلى هيليوم دون أن يكون هناك مجال لعودة الهيليوم إلى التحول إلى أيدروجين. ومع ذلك فالغالبية العظمى من الذرات الكونية لا تزال عبارة عن ذرات أيدروجين ففى وسعنا أن نحكم إذن بأن الذرات الكونية لا تزال حديثة السن أى أن فرصة الحياة أمامها لا تزال مديدة.

فهل نستطيع أن نحسب عمر الذرات التى يعمر بها الكون مقدرة بالسنين. نعم بكل تأكيد نستطيع حساب هذا إذا قدرنا السرعة التى تتحلل بها الذرات. وحديثًا يمكن بدقة حساب السرعة التى تجرى بها عملية التحلل.

والتحلل عملية أرسخ وأعمق. فالنواة التى هى قلب الذرة تشيد من مواد أكثر أصالة – هى البروتونات والنيترونات وخواص هذه العناصر الأساسية للمادة محيرة للغاية. والقوى التى تؤلف بينها من نوع آخر يختلف اختلاف تمامًا عن النوى التى توجد بين النجوم والكواكب ومعظم النويات مستقرة إلى أقصى حدود الاستقرار فهى قادرة على الصعود إلى حد بعيد دون أن يلحقها تغير.

ولكن هناك نويات أخرى ذات طبيعة قلقة، فهى تنزع إلى التفتت فى الظروف العادية فإذا حدث بطريقة ما أن اكتسبت إحدى الدقائق المكونة لنواة ما طاقة كافية للتغلب على جاذبية سائر الدقائق، انطلقت وضاعت – وفى هذه الحالة – تتعرض نواة الذرة للتفكك.

وتعرف هذه العملية باسم "النشاط الإشعاعي" ومعظم النوايات الذرية الثقيلة تعانى عدم استقرار من هذا النوع ولكن هذا التأثير ليس قاصرًا على النويات الثقيلة فحسب. فلكل نوع من أنواع النويات قابلية محدودة للتفتت – ومعنى ذلك أن لها

مدة حياة محدودة فإذا روقب حشد بين الذرات غير المستقرة من نوع ما فترة معينة – ولتكن عامًا مثلا – لوحظ أن نسبة معينة منها تتحطم فإذا أعيدت هذه التجربة على حشد آخر فى نفس النوع ولنفس الفترة الزمنية – لوحظ أن نسبة الذرات المتحطمة لا تتغير وتظل أبد ثابتة.

ولقد وجد أن بعض الذرات كذرات الكربون العادى مثلاً لها مناعة ضد التفكك وهناك أنواع أخرى من العناصر يهلك نصف عدد ذراتها فى جزء من الثانية ويقاس مدى قابلية الذرات للتفكك النووى بالزمن الذى يلزم حتى يهلك نصف عدد النويات وهو يسمى بنصف العمر الذرى وهذا الزمن – نص العمر الذرى – يمدنا بفكرة واضحة عن عمر الذرات التى تملأ الكون فمثلا، إذا كان لذرات مادة ما "نصف عمر" قصير فليس منتظر أن نجد أحياء من نوعها فى الذرات الأولية.

وقد عرف هذا النوع من الذرات فى الأيام الأخيرة فليس "البلوتنيوم" و"التيتيوم" إلا مثيلين لها وهناك أنواع عديدة لها قابلية شديدة للتفتت أو التفكك ونقصد أن مثل هذه الذرات ليس لها وجود فى الطبيعة وهناك أنواع عديدة من "البلوتينيوم" ويقدر نصف عمر أقل أنواعه عرضه للتفكك بحوالى ٢٠ ألف سنة.

ويحتمل أن يكون الكون فى عصوره الأولى قد احتوى على ذرات "البلوتنيوم" ولكن اليوم لم يبق منهن شيء فى عالم الذرات، فلا مناص من أن نفترض أنهن قد هلكن جميعا. ومعنى ذلك أن عمر عالم الذرات يفوق كثيرا على ٢٠ ألف سنة... أما أقل أنواع التيتونيوم تعرضًا للكوارث فيقدر "نصف عمره" بعشرين مليون سنة ولما كانت الطبيعة خلوا من عنصر "التيتونيوم" ففى وسعنا أن نستنبط أن الذرات التى تعمر الكون لها من العمر ما يزيد كثيرًا على عشرين مليون سنة ولكن الكون يحتوى على البورانيوم الطبيعى بكميات صغيرة والبوارنيوم بدورة يتفكك بسرعة معينة ثابتة ويمكن ملاحظة ذلك من السلسلة الآتية

اليورانيوم ← الثوريوم ← البزموت ← الرصاص

وذرات الرصاص هذه ما هى إلا جثث ذرت اليورانيوم الأصلية ومن عدد

الجثث هذه يسهل علينا أن نقدر الزمن الذى استغرقه مرور هذه الحوادث وقد وجد أن هذا الزمن حوالى ٤٥٠٠ مليون سنة.

وهناك جثث أخرى تخلفت فى أثناء عملية تفكك اليورانيوم وهى الهليوم وبتقدير الهيليوم الناتج تصل إلى ٥٥٠٠ مليون سنة.

ويوجد فى الطبيعة نوعان من اليورانيوم وبالطبع فأشدهما تعرضًا للتفكك فهو لابد وأن يكون أكثر شيوعًا من الآخر فنسبه وجود الأول إلى الآخر تقل عن نسبة ١ : ١٠٠.

وإذا عرفنا أنه عند بدء الخليقة كانت كميتا هذين النوعين متساويتين – وهو فرض معقول – أمكننا أن نحسب الزمن الذى مر حتى تضاءلت نسبة أقلهما حظًا إلى أكثرهما حظًا وصارت ١٪ وقد وجد أن هذه المدة حوالى ٦٠٠٠ مليون سنة ومن الواضح أن هذه فترات زمنية هائلة. وهذه المعلومات التى نستمدها من الذرات غير المستقره تضع لنا أفقا أوحدًا أقصى لمقياس الزمن الكونى يقل عن ١٠٠٠٠ مليون سنة.

وعموما فأن ١٠٠٠٠ مليون السنة الماضية لابد وأنها قد شهدت انقلابات جسيمة فى الكون.

والسؤال الذى يتبادر إلى الذهن الآن هو "كيف تتولد الذرات فى الكون باستمرار؟" على الرغم من أن الظروف اللازمة لتولد الذرات غير متوافرة وهناك رأيان لتفسير الطريقة التى تولدت بها الذرات.

١ – أن درجات الحرارة الخيالية – التى تتراوح بين مليون درجة وبين مائة مليون درجة – قد طبخت المكونات الأولى للذرات طبخا. فحولتها إلى كتلة هبطت درجة حرارتها فيما بعد إلى درجات الحرارة "المتوسطة" التى تسود اليوم والتى لا تزيد على بعض عشرات من ملايين الدرجات ولكن يتمشى هذا الرأى مع ما تلاحظه عن نسب أنواع الذرات المختلفة يبدو من الضرورى أن نفترض أن عملية "الطبخ" قد

تمت على مرحلتين... إذا ليس من الممكن أن يتكون ما شاهده من نسب الذرات المتعددة الأنواع بتأثير درجة حرارة واحد.

٢- أن جميع مادة الكون كانت فى يوم من الأيام مركزه فى كتلة ضخمة نستطيع أن نسميها "الذرة العليا" وتحطمت هذه الذرة العليا وتفتت إربا بتأثير الانشطار النووى الذى نشهده اليوم صورة مصغرة جدًا منه فيما نراه فى القنبلة الذرية.

هذا الرأى يقرر أن الكون كما نعرفه الآن يرجع تكوينه إلى انفجار عات جبار يجد بعض التأييد فيما نلاحظه من أن المجرات التى تملأ كل المال الذى يتناوله مدى رؤيتنا، تتمدد أو تنفجر مدبرة فى جميع الاتجاهات.

وقد بنيت فكرة الانفجار الكبير على تفسير حرفى بعض الشيء للازاحات الحمراء المرصودة فى طيف المجرات على أنها ازاحات دوبلر التى تنتج عن الحركة الارتدادية وحقيقة أن الحركات المنظمة بعيدًا عنا تثير من جديد السؤال عن مركز الكون؟ لا بالتأكيد فإن الفلكيين فى أى مجرة أخرى سوف يرون نفس المنظر إذا قاسوا الازاحات الحمراء ويمكن تشبيه ذلك ببالون من المطاط منقط بنقط سوداء على سطحه وحين يملأ باهواء فإن جميع النقط سوف تتحرك مبتعدة عن أية نقطة معينة على سطحه.

وبدراسة التاريخ السابق لهذه الحركات يمكن تعيين عمر الكون.

لا تدور النجوم إلى الأبد. ففى النهاية لابد أن ينفذ وقودها وتتغير موازين القوى بداخلها. وقد يحدث هذا بعنف أحيانا.

ويعرف الفلكيين حاليا ما يحدث لنجم ما عندما تنتهى حياته، فبعض النجوم يخبو ببساطة، بينما ينفجر بعضها الآخر مكونا كرة هائلة من النار.

كلما كان النجم ضخما، كانت نهايته، أشد عنفا ولكن معظم النجوم تنهى آخر أيامها بنفس طريقة شمسنا ذاتها، ففى غضون خمسة بلايين سنة أخرى، فإن الشمس ستكون قد حولت معظم الهيدروجين الذى بقلبها إلى هليوم عن طريق الاندماج النووى.

من المعروف أن الشمس تتكون أساسًا من الهيدروجين وهو أخف العناصر المعروفة على الإطلاق وأن مركز الشمس بالغ الحرارة حيث يصل درجة حرارته إلى نحو ١٥ مليون درجة وعندما تأخذ جسيمات المادة فى التسابق مع بعضها بسرعات عالية – تصل ١٠٠٠ كيلو متر فى الثانية والتصادمات التى بهذه السرعات ممكنة تمامًا، ومن العنف بحيث أن الجسيمات قد تلتصق بعضها البعض فيما يسمى بالاندماج النووى ولما كانت كل الجسيمات الضالعة فى هذه التصادمات شائعة الوجود فى الكون، ومن ثم شائعة على الأرض فقد قام العلماء بقياس كتلتها فوجدوا أن ناتج كتلة الجسيمات المندمجة أقل من مجموع كتلها إذا كانت منفردة وأن الكتلة التى اختفت عندما اندمجت الجسيمات معا قد تحولت إلى طاقة. وكلما تحول القلب بالتدريج من هيدروجين إلى العنصر الأثقل وهو الهليوم، فإن الضغط الداخلى يزداد وترتفع درجة الحرارة مما يجعل النجم يسطع بلمعان أشد وفى النهاية لا يتبقى هيدروجين فى قلب النجم وتتوقف بذلك عمليات الاندماج النووى.

وإلى هنا فإن قوى الجاذبية المتجمعة إلى الداخل محاولة تقليص حجم النجم تواجه بقوى مساوية ومضادة تتجه إلى الخارج بسبب الحرارة الشديدة الناجمة عن النشاط النووى بالقلب. ومع أن الاندماج يتوقف داخل قلب النجم، فإنه يستمر فى قشرة تحيط به من الخارج، وهكذا يتساقط المزيد من الهليوم إلى القلب إلى أن يصبح غير قادر على الاحتفاظ بوزنه وهذه العملية نفسها تولد حرارة تجعل الطبقات الخارجية تتمدد، وتبلغ درجة تمدد السطح حدًا يجعله يبدأ فى البرودة. حتى يصير لونه أحمر باهتًا فيطلق على النجم – حينئذ – العملاق الأحمر. وعندما يحدث هذا للشمس فأنها تأخذ فى الكبر والتضخم حتى تبتلع كواكب عطارد والزهرة والأرض عندئذ سيتبخر كل ما على ظهر الأرض من حياة، والطبقات الخارجية للنجم المحتضر تتمدد فى النهاية فى الفضاء مخلفة وراءها نجمًا صغيرًا باردًا يطلق عليه – القزم الأبيض – وهذا الأخير تزداد برودته بالتدريج حتى يختفى عن الأنظار.

يعتقد الفلكيون أن مصيرا مختلفا ينتظر النجوم التى تزيد أوزانها على ١٢ ضعف وزن الشمس، حيث يتداعى قلب هذه "الأوزان الثقيلة" فجأة بحيث ينخفض

حجمها عن حجم الأرض – مثلا – إلى ما يتراوح بين ١٠، ١٠٠ كليو متر فى القطر فى أقل من ثانية واحدة. وتكون صدمة هذا الانهيار المباغت من العنف بحيث يتطاير طبقات النجم الخارجية فى انفجار عملاق يسمى "سوبر نوفا" عام ١٠٠٦، ١٠٥٤، ١٥٧٢، ١٦٠٤م وقد أطلقوا عليها اسم النجوم "الضيوف" لأنها كانت تصل وتظل فترة معينة ثم ترحل ثانية على أن هذه النجوم ليست بالظواهر النادرة للغاية وكثيرًا منها قد رحل دون أن يرصده أحد أو أنه كان مختفيًا خلف سحب الغاز والأتربة وقد قام الفلكيون المعاصرون بمسح السماء بحثًا عن بقايا "السوبرنوفا" وطبقا لدراساتهم فإن نجمًا واحد من السوبر نوفا يحدث فى مجرة "درب التبانة" مرة كل ١٠٠ عام.

ويقدر الفلكيون أنها لابد أن تكون ساطعة عشرة بلايين مرة أكثر من الشمس وأن كانت لا تستمر بهذه الدرجة طويلاً.

فعندما تنفجر القشرة الخارجية للنجوم نحو الفضاء فأنها تتمدد، ثم تبرد، ثم تفقد برقيها وتتلاشى تمامًا بعد عدة أشهر.

أما قلب النجم المتداعى،فإنه يكون كثيفًا لدرجة لا تصدق، ولدرجة أن العناصر والمركبات الكيميائية لا يمكن أن توجد كما نعرفها والنجم المحتضر يتكون غالبا من جسيمات تسمى نيوترونات ولذا فهو يسمى نجمًا نيترونيًا. وحيث أن كمية هائلة من المادة تنضغط فى حيز ضئيل جدًا فإن قوى الجاذبية عند سطح النجم تكون هائلة جدًا وقد تصل إلى ١٠٠ ألف مليون مرة مثل قوة الجاذبية على سطح الأرض.

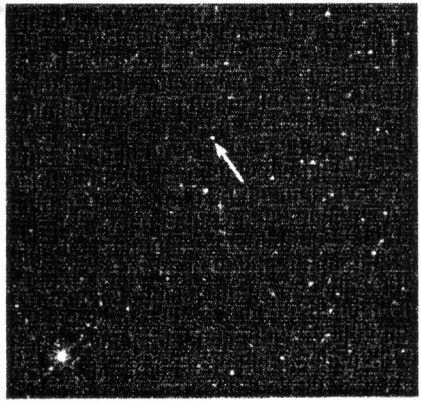
والانهيار الذى يؤدى إلى تكوين النجم النيترونى يكون فجائيا إلى الحد الذى يدور فيه النجم حول نفسه بسرعة كبيرة – أى نحو ألف مرة فى الثانية – أما الجسيمات التى تطايرت من سطح النجم يتم اصطيادها بسرعة مرة أخرى بالمجال المغناطيسى الجبار الذى يحيط بالنجم وتطلق تلك الجسيمات موجات لاسلكية يضغط عليها المجال المغناطيسى فتنقسم إلى حزمتين من الأشعة، وعند دوران النجم حول نفسه فإن هذه الحزم من الأشعة تمسح السماء مثلما تفعل الأضواء

المنبعثة من الفنارات فى الموانئ، ولذا يستطيع الفلكيون رصدها وهم على الأرض. ويدل معدل وميض النجم سطوعًا وانطفاء بتأثير الموجات اللاسلكية على مدى السرعة التى تدور بها النجم حول نفسه.

وكما رأينا من قبل أن مصدر حياة النجوم هو التفاعل الكيميائى البطيء الذى يتحول الهيدروجين فيه إلى هليوم، ولما كان النجم الحديث التكوين وهو غاز النجم الذى خرج لتوه إلى الوجود نتيجة تكثف المادة النجمية المادة المنتشرة للفضاء يحتوى على أكثر من ٥٠٪ من الهيدروجين بالنسبة لكتلة الكلية فإننا ننتظر له دورة حياة طويلة – وهكذا يمكن للمرء أن يحسب من اللمعان الظاهر للشمس مثلاً أنها تستهلك حوالى ٦٦٠ مليون طن من الهيدروجين فى الثانية وحيث أن كتلتها تصل إلى ٢ × ١٠ ^{٢٧} طنا ونصف هذه الكتلة من الهيدروجين فمن الواضح إذن أن عمرها المفترض سيبلغ

$$\frac{٢ \times ١٠^{٢٧}}{٦٦ \times ١٠^{٧}} = ٣,٠٣ \times ١٠^{١٨} \text{ ثانية أى حوالى } \frac{٣,٠٣ \times ١٠^{١٨}}{٣٦٥,٢٥ \times ٢٤ \times ٦٠ \times ٦٠}$$

أى حوالى ٥ × ١٠ ^{١٠} عاما فإذا تذكرنا عمر شمسنا الآن لا يزيد عن ٣ × ١٠ ^{٩} عاما أو ٤ × ١٠ ^{٩} عاما تقريبا أنها لا تزال تعتبر صغيرة السن جدا وسوف تستمر فى بث إشعاعها بنفس قوتها الحالية تقريبا لبلايين الأعوام القادمة.



فى الصورة يشير السهم لنجم نيترونى

obeikandl.com

ولكن الشموس الأكبر كتلة والأشد بالتالى برقيا تستهلك مئونتها الأصلية من الهيدروجين بمعدل أعلى بكثير لذا فإن "الشعرى اليمانية" مثلا وهى أثقل من الشمس ٢,٣ مرة وتحتوى بالتالى على قدر أكبر من الهيدروجين بنسبة ٢,٣ مرة إلى الشمس اشد لمعانا بـ ٣٩ مرة فى نفس الفترات الزمنية ولذا فإن عمر الشعرى اليمانية لا يزيد عن ٣ بليون عاما بالنسبة لما تحتوى عليه من وقود هيدروجينى وفى النجوم الأشد لمعانا مثل (Y 380 Cygni) – أكبر من كتلة الشمس بـ ١٧ مرة وأشد بريقا منها بـ ٣٠ ألف مرة – يكون الوقود الهيدروجينى الأصلى فيها غير كاف إلا لـ ١٠٠ مليون عام تقريبا.

ما الذى يحدث للنجم عندما ينضب أخيرًا بعينة من الهيدروجين؟.. حيث أن الطاقة النووية التى تحافظ على سطوع النجم فى درجة ثابتة تقريبا أثناء فترة حياته قد انتهت فلا بد لجسم النجم أن ينكمش وبالتالى يمر فى مراحل متعاقبة من ازدياد الكثافة شيئًا فشيئًا وتكشف لنا المشاهدات الفلكية عن وجود عدد كبير من هذه "النجوم المنكمشة التى يزيد متوسط كثافتها عن الماء بمعامل قدره مئات الآلاف من المرات ولا تزال هذه النجوم ساخنة جدًا ونتيجة لارتفاع درجة حرارة سطوعها فهى تشع ضوءًا أبيض يعتبر خلفية واضحة للنجوم الصفراء أو الحمراء العادية وهذه النجوم فى هذه المراحل المتأخرة من التطور اسم "الأقزام البيضاء" وهذا المصطلح يجمع فى دلالته بين الأبعاد الهندسية ودرجة اللمعان الكلى. وبمرور الزمن سوف تفقد الأجسام البيضاء بريقها تدريجيًا ثم تصبح فى النهاية أقزام سوداء وهى تلك الكتل الكبيرة الباردة من المواد والتى لا يمكن رصدها من خلال المشاهدات الفلكية المعتادة.

ويجدر بنا على أية حال أن نلاحظ أن عملية التقلص والتبريد التدريجى للنجوم المعمرة التى استهلكت كل وقودها الهيدروجينى الهام لا تنهى حياتها بشكل منظم وتدريجى تماما فهى تقطع "آخر خطواتها" قبل الفناء غالبا تحت تأثير الانتفاضات القوية وكأنها تصارع قدرها. وتعتبر هذه الأحداث المأسوية المعروفة باسم الانفجارات والانفجارات العظمى تعتبر من أكثر موضوعات الدراسة النجمية

إثارة ففى خلال أيام معدودات يزداد لمعان نجم قد لا يختلف عن غيره من النجوم بمعامل قدرة مئات الآلاف من المرات ويصبح شديد السخونة جدًا، وتدل دراسة التغيرات التى تطرأ على الطيف المصاحب لهذه الزيادة المفاجئة فى اللمعان على أن جسم النجم يزداد التهابا وتورما، وأن الطبقات الخارجية له تتمدد بسرعة تبلغ حوالى ٢٠٠٠ كيلو متر فى الثانية، على أن ازدياد اللمعان ليس إلا شيئا مؤقتا وما أن يبلغ حده الأقصى حتى يبدأ النجم فى الانطفاء ببطء وعادة يمر عام قبل أن يعود لمعان النجم المنفجر إلى حجمه الأصلى، هذا على الرغم من أنه قد لوحظت اختلافات طفيفة فى الاشعاع النجمى بعد فترات أطول بكثير، فعلى حين أن بريق النجم يعود كما كان فلا يمكن أن نقول نفس الشيء عن الخواص الأخرى إذا أن هناك جزء من المجال النجمى الذى يشارك فى عملية التمدد السريع أثناء مرحلة الانفجار يستمر فى حركته إلى الخارج ويلف الشمس بغشاء من الغازات اللامعة يتضخم حجمه مع الزمن على أن الدليل الخاص بالتغيرات التى تدوم فى النجم ليست بعد محددة إذا لم يتم تصوير طيف نجم منفجر إلا مرة واحدة (انفجار أوريجا ١٩١٨م) وحتى هذه الصورة لم تكن جيدة تمامًا بحيث لا يمكن التأكيد من حرارة السطح أو قطر النجم فى المرحلة السابقة مباشرة على انفجاره.

ويمكن الحصول على براهين أفضل بالنسبة لعواقب الانفجار فى النجم من ملاحظة الانفجارات العادية بمئات الآلاف من المرات. وعندما تصل هذه النجوم إلى قمة لمعانها تقترب الأشعة المنبعثة منها فى قوتها الضياء المنبعث من نظام نجمى برمته. ومن الأمثلة النموذجية فى درب التبانة على هذه الانفجارات العظمى:

- النجم الذى رصده "تيكوبراهي" عام ١٥٧٢م وكان ضوءه واضحا فى وسط النهار المشرق.
- النجم الذى رصده علماء الفلك الصينيين عام ١٥٠٤م.
- وربما كان نجم "بيت لحم" كذلك من بين هذه النجوم.

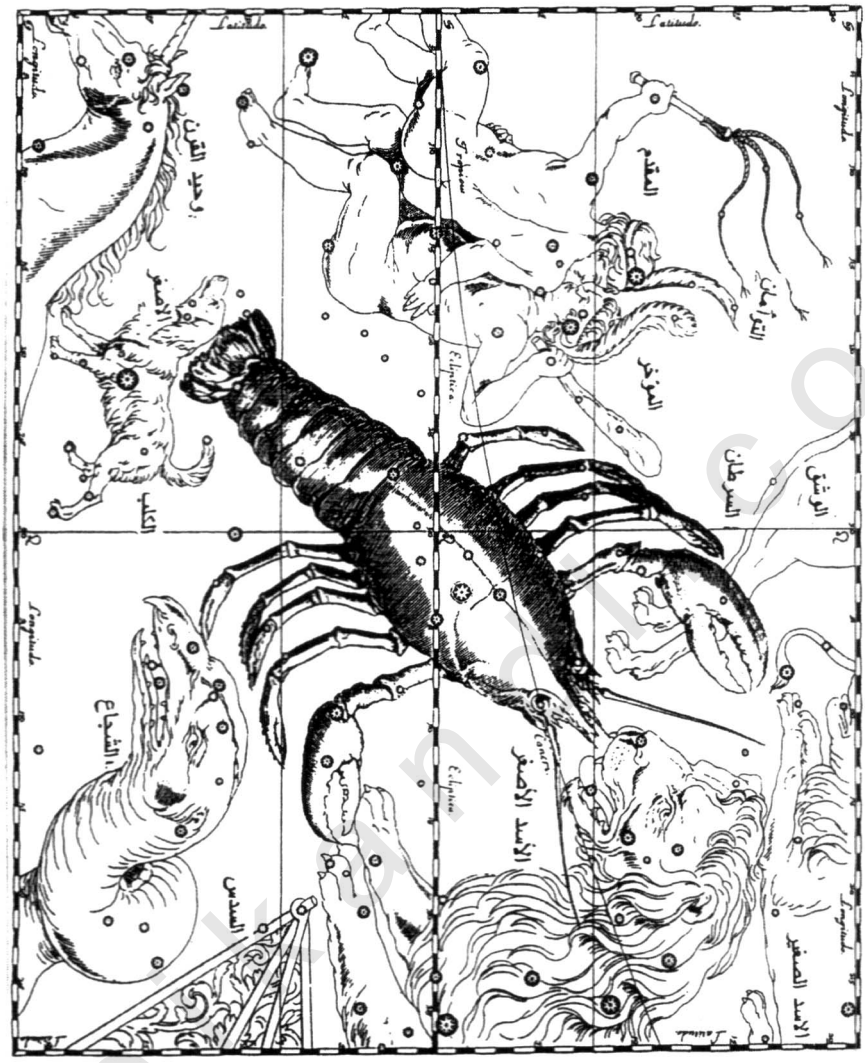
هكذا وقد تم رصد أول انفجار عظيم خارج مجرتنا عام ١٨٨٥م فى النظام النجمى المجاور لنا (سديم اندروميدا) وقد زاد لمعانه عن لمعان كافة النجوم

المتفجرة التى سبقت مشاهدتها فى هذا النظام بألف مرة. ومع الندرة النسبية لهذا الانفجارات السريعة إلا أن دراسة خواصها أدت إلى تقدم عظيم فى السنوات الأخيرة.

وعموما فالانفجار الأعظم يؤدى إلى تمدد الغلاف الغازى على نحو سريع كما يحدث فى الانفجارات العادية وإن كان تمدد الأول يزيد كثيرًا عن تمدد الأخير والواقع أنه فى حين أن الأغلفة الغازية المنبعثة عن الانفجار العادى يقل حجمها شيئًا فشيئًا ثم تذوب وتتبدد بسرعة فى الفضاء المحيط نجد أن الكتل الغازية المنطلقة من الانفجار الأعظم تكون سديمًا كثيفًا يشير إلى موقع الانفجار. ونستطيع على سبيل المثال أن نعتبر ما يطلق عليه اسم "سديم السرطان" أثرًا – لا سبيل إلى الشك فيه – للانفجار الأعظم الذى وقع عام ١٠٥٤م وكانت الغازات الناتج عنه سببًا فى ظهور هذا السديم.

وفى هذا الانفجار بالذات نجد دليلاً على مكان النجم الذى بقى بعد الانفجار فالحقيقة أن المشاهدات تدل على وجود نجم خافت فى مركز "سديم السرطان" وهذا النجم يندرج تحت فئة الأقزام البيضاء عالية الكثافة بالنسبة لما لوحظ من خواصه.

أما بالنسبة "لنظرية الانهيار" بمجرد أن يستهلك النجم كل ما فيه من هيدروجين لا يجد طاقة دون ذرية بعد ذلك فلا يستطيع إلا أن ينكمش ومن ثم يحول كل طاقته الممكنة من جاذبية إلى إشعاع وهذه العملية تكون بطيئة جدًا نتيجة لأن اللاشفافية العالية لمادة النجم تجعل انتقال الحرارة من داخل النجم إلى إخارجه يتم فى بطء شديد فيقدر الزمن اللازم لانكماش شمسنا إلى نصف حجمها الحالى مثلا بـ ١٠٠ مليون عام أو يزيد وأى محاولة للتقلص فى زمن أقل سوف يؤدى إلى انطلاق كم أكبر من الطاقة الجاذبية فى الحال ومن هذا نرى أن السبيل الوحيد للإسراع بمعدل الانكماش حتى نصل إلى مرحلة الانهيار الكامل كما فى الانفجارات العظمى أو العادية هو استنباط لطريقة معينة تقضى على الطاقة المنطلقة داخل النجم نتيجة للانكماش.



وبديهى أن نتخيل أنه نتيجة نقص الضغط الغازى داخل النجم تبدأ الكتل التى تكون بنيته الخارجية العملاقة فى الاتجاه إلى مركزة تحت تأثير قوى الجاذبية. ولكن كم نجم يكون فى حالة دوران سريع كما نعرف. لذا فإن عملية الانهيار تتم فى شكل غير متماثل وتنهار الكتل القطبية (التى تقع بالقرب من محاور الدوران أولاً بحيث تضغط على الكتل الاستوائية مما يؤدى إلى انبعاثها إلى الخارج.

وهذا يجعل المادة التى كانت قبلها موجودة فى أعماق باطن النجم وحرارتها بالملايين تطفو على السطح مما يفسر الارتفاع المفاجئ فى درجة لمعان النجم

وباستمرار هذه العملية تتجمع مادة النجم القديم المنهارة فى مركزه ويتحول إلى قزم أبيض عالى الكثافة فى حين تبرد الكتل المطرودة تدريجيا وتستمر فى التمدد مكونه هذا النوع من السدم الذى تشاهده فى سديم السرطان.

عمر الشمس

كان عمر الشمس من الموضوعات التى شغلت بال العلماء فى السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر. ويكاد يكون من المؤكد أن كمية الضوء التى تتلقاها الأرض من الشمس لم تتغير كثيرًا منذ بدأ الحياة على الأرض.

ولقد كانت كمية ومصدر الطاقة المنبعثة من الشمس سرًا فلكيًا غامضًا أمكن حله فقط مؤخرا فى الثلاثينات وهذه مشكلة هامة لأن الطاقة الشمسية هى التى تساعد جميع أنواع الحياة على الأرض. فلو هبطت كمية الضوء والحرارة التى ترسلها الشمس إلينا بمقدار ١٠٪ لغدت الأرض أبرد من أن تسمح بقيام الحياة ولو أن الكمية زادت بمقدار ١٠٪ لغلى الماء على سطح هذا الكوكب ولاستحالت الحياة عليها... ولكن اتصال وجود الحياة على الأرض كما كشفت عنه وثائق الحفريات لا يثبت لنا فقط أن الشمس كانت هناك طيلة هذه العصور والأحقاب ولكنه يثبت لنا أمرًا آخر جدير بالأهمية والدلالة وهو أن الشمس كانت فى جوهرها طيلة هذه العصور والأحقاب كما هى الآن وأنها ظلت على تلك الحالة الثابتة ما لا يقل عن ٥٠٠ مليون عام. وهذه الفترة تعادل عشر مدى الأفق الزمنى الذى تكشفه لنا عمر الذرات كما تبين لنا فيما سبق.

وتقترح دراسة الحفريات أن الشمس كانت تبعث تقريبا نفس الكمية من الطاقة خلال الجزء الرئيس من حياة الأرض على الأقل ومناقشة هذا الموضوع بسيطة فلو كانت الأرض تستقبل طاقة شمسية أكبر كثيرًا مما تستقبله الآن فإن الماء يجب أن يوجد على هيئة بخار أكثر من وجوده كسائل. أما إذا كانت الأرض تستقبل طاقة شمسية أقل كثيرًا مما تستقبله الآن فإن معظم الماء يجب أن يوجد أساسًا فى صورة جليد ولكن حفريات أحياء البحر ووجود صخور رسوبية بالغة القدم تكونت بواسطة ترسيب المواد المتعرية فى البحار القديمة فقد بينت أن الأرض كان يعيش عليها بكثرة كائنات من أصل مائى وذلك لعدة ملايين من السنين على الأقل.

لم تعد الأرض فى نظر العلماء – وليدة ثوران مدمر حل بالشمس بل لعل الأقرب إلى الاحتمال أن الشمس والأرض تولدتا نتيجة عملية واحدة. فلم تكن الأرض جزءًا من الشمس. بل لعل درجة حرارتها لم تكن فى يوم من الأيام درجة مفرطة فى الارتفاع ولكنه تولدت مباشرة عن مادة صلبة تكثفت فنشأت عنها الشمس والكواكب فى وقت واحد.

وأكبر الظن أن الشمس كما نعرفها – ليست أكبر سنا من الأرض بل لعل العكس هو الصحيح.

وقد اكتشف كل من "كب" و "هانزيت" و "فون فيساكر" أن نوى الأيدروجين سيتحد فى سلسلة من التفاعلات النووية تدخل فيها نوى الكربون كعامل مساعد – وقد اتضح أن أربعا من نوى الأيدروجين يتحد مكونا نواة من الهليوم.

وسيكون وزن الهليوم أخف من مجموع أوزان نوى الأيدروجين بمقدار ٠٫٧ ٪ تقريبا. وهذا النقص فى الكتلة يتحول إلى طاقة تجتاز طبقتها فى باطن الشمس إلى سطحها فى تدفق متواصل ولا يستطيع التفاعل أن ينتج طاقة إلا عند درجات حرارة تتراوح بين ١٥، ٢٠ مليون من الدرجات، ومعدل انطلاق الطاقة يتوقف على الأس الثامن عشر لدرجة الحرارة أى أن معدل انطلاق الطاقة تتناسب مع ت[١٨] حيث درجة الحرارة.

ومن ثم فمعظم طاقة الشمس تصدر من مادة المنطقة المركزية حيث تكون درجة الحرارة على اشدها.

وعند درجة حرارة ١٥ مليون درجة يكون الضوء المنبعث مشابها للأشعة السينية ويتدفق الضوء إلى الخارج عبر إلكترونات وذرات الطبقات المتراكمة فوق قلب الشمس، وتزداد حمرة الضوء باستمرار خلال هذه العملية حتى أنه عندما يصل إلى السطح يكون لون الضوء أصفر مائل للخضرة وتوهج الشمس ليس إلا أثرا من آثار الطعام الذى تتناوله وما طعامها إلى مادة جسمها، وما أبسطه !... إنها لا تتناول من صنوف الغذاء إلا لونًا واحدًا هو الأيدروجين.

وقد ظلت الشمس تتغذى على أجزائها الباطنة مدى عشرات بل آلاف ملايين السنين ومع ذلك ظلت مكونة فى معظمها من الأيدروجين الذى يكفى لاستمرار الحال جاريًا على نفس الوتيرة لمدة لا تقل طولاً عن المدة الماضية.

والواقع أن الشمس تعتبر مرآة الكون كله وهى عبارة عن كرة من الغاز المتوهج يكون على أسخن حالاته وأكثفها فى الباطن وسطحها بحر متلاطم من الذرات يغلى ويفور وتسبح من حولها الغازات كأنها الريش متاطيرًا فى الهواء وتندفع خيوط متوهجة مصعدة متعالية. بينما تهبط نافورات لامعة كأنها الشلالات وتدوم فى سطحها أعاصير جبارة وتندفع كالسهام لهيبًا حارقًا جارفًا مندفعًا لا يلوى على شيء، ثم تنقشع انقشاعا وكأنها لم تكن وتتوهج الخوانق تخطف البصر ثم تختفى وتتلاشى ويحتويها جو لامع يحيط بها من جميع أنحائها ومن حول هذا الجو يومض الإكليل الشمس وتتوهج هالتها وتقل القوى المغناطيسية الشديدة فعلها عبر سطحها وتتناثر الذرات والإلكترونات منها فى الفراغ. وفيما هى تدور حول محورها يكون خط استوائها أسرع دورانا ويكون فى المقدمة دائمًا وتنبثق البقع الشمسية على وجهها فى دورة إيقاعية بطيئة رتيبة وتبلغ أقصى حالات نموها كل ١١ سنة ثم تتضاءل وتزول.. ياله من مشهد هذه الشمس.

التى تعتبر بحق مرآة رائعة للكون. فهذا الذى يحدث للشمس يحدث لسائر النجوم. إن الشمس مكونه من الأيدروجين مضاف غليه كميات ضئيلة من المواد الأخرى وهذا هو شأن النجوم الأخرى واستهلاكها المنظم الرتيب للأيدروجين هو الذى يبقى على توهجها وأكثر النجوم لا تتغذى إلا بهذه الطريقة.

على أن عمليات الهضم قد تختلف شيئًا ما بين أنواع النجوم المختلفة فإذا كانت درجة الحرارة أدنى من ١٥ مليونا من الدرجات فإن دورة الهضم التى يساعد الكربون على إتمامها يمكن أن تتم بطرق أخرى كالاتحاد المباشر بين البروتونات "نوى الأيدروجين" لتكوين الهليوم وهذا هو ما يسمى بتفاعل البروتون والبروتون ويظل كما هو يهضم كما هو ويهضم الأيدروجين ويتخلف الهليوم.

فالنجم الذى تساوى كتلته ضعف كتلة الشمس أسرع تبديدًا لكتلة من الشمس أثنى عشر مرة – والنجم الذى تزيد كتلته عشر مرات أسرع فى التهام نفسه من الشمس ألف مرة وتتصاعد سرعة الاستهلاك إلى مليون مرة فى حالة النجم الذى تكون كتلته قدر الشمس مائة مرة – ويكون احتمال بقائه حيا أقل من احتمال بقاء الشمس بليون مرة ومثل هذه النجوم تتعرض للمتاعب قبل مضى زمن طويل. إذا

من شأنه أن يستهلك كل هيدروجينه فى وقت وجيز بالقياس إلى الأزمنة الفلكية. وقد فعل بعض النجوم ذلك ولم يعد لديها من وسائل للاستمرار فى الإضاءة سوى الانكماش وهى الوسيلة التى اتبعتها الأقزام البعض فقد استنفذت هيدروجينها واضطر لانكماش لتظل حارة لامعة.

وبهذه الطريقة يمكن حساب حياة النجوم ويمكننا أن نقدر العمر الكلى لنجم كالشمس بحوالى ٥٠٠٠ مليون سنة فإذا كان ثمة نجوم يبلغ كتلتها كتلة الشمس مائة مرة فإن نشاطها يقدر بآلاف السنين لا بملايينها ولابد أن يأتى عليها اليوم الذى يصيبها فيه الخمود التام فى الوقت الذى تكون شمسنا فيه لا تزال تشع طاقتها إشعاعا دائبا فى بريق متصل لا يهمد. ومثل هذه النجوم الخامدة الهامدة المستهلكة موجودة فعلا – والعلامة التى يمكن تمييزها بها هى أن بريقها أخفت مما يتوقع أن يكون عليه إذا طبقنا قانون الكتلة – اللمعان... فضوءها ضعيف لأنها استهلكت مصادرها النووية الداخلية واستنفذت كل ذخيرتها من الأيدروجين وبات معنى وجودها محصورًا فيما تبقى لها من رصيد محدود هو قوة الجاذبية "الانكماشية" ففى وسع النجم – بانكماش حجمه – أن يحول طاقته التثاقلية إلى ضوء وحرارة.

ونعطى أمثلة لتقدير أعمار النجوم.

كتلة راعى "الجوزاء" قد تفوق كتلة الشمس ٤٠ مرة على الأقل ولمعان هذا النجم يعادل لمعان الشمس ٢٠ ألف مرة ويتدفق من ٨٠ مليون طن من الضوء فى الثانية فهو إذن أسرع فى استهلاك مادته عن الشمس بقدر ٥٠٠ مرة وبالتالى ستكون حياته أقصر من حياة الشمس بنفس النسبة.

فإذا قدر للشمس أن تعيش ٥ بليون سنة فلن يقدر لراعى الجوزاء أن يعيش أكثر من ١٠ ملايين من السنين.

وبعبارة أخرى لو كانت المدة التى قضاها هذا النجم لامعا فى السماء تبلغ ١٠ ملايين من السنين لكان قد وصل الآن إلى حالة الإفلاس. ولكن راعى الجوزاء أبعد ما يكون عن الإفلاس فهو واحد من أشد النجوم سخاء وإسرافًا. وإذا يمكن استنباط أن عمر هذا النجم لابد وأن يكون أقل من ١٠ مليون سنة.

الشمس فى الوقت الحاضر نجم ثابت لكنه لن ولم يظل على هذه الحال إلى مالا نهاية له ففى المستقبل البعيد ربما بعد ٥٠٠٠ مليون سنة أو ما يقرب من ذلك سيطر إلى تغير بنيته. وذلك لنفاذ المؤونة المتيسرة من وقود الهيدروجين ما سيحدث بالحقيقة هو أن الشمس ستتمدد إلى أن تصبح نجما عملاقا أحمر يبث ما يقرب من مائة ضعف الطاقة التى تبثها الشمس الآن.

أثار هذا التمدد ستنزل كارثة بالكواكب الداخلية (عطارة والزهرة) فأما تتحطم أو تفقد جوها وتصبح حارة للغاية فى ما بعد، تنهار الشمس وتصبح نجما قزما ضعيفًا أبيض تحيط به الأعضاء المتبقية من سيارات نظامه. أما تفاصيل الزمان الدقيقة. فما تزال موضوع جدال. إنما هناك شيء أكيد هو أن الحياة على الأرض لا تستطيع الاستمرار إلى مالا نهاية له. وأن النظام الشمسى فى شكله الحالى لابد أن يكون له وجود محدود.

تكونت الشمس منذ نحو ٤.٦ بليون سنة وبقى لها قرابة خمس بلايين سنة مما يسمى حياة "التتابع الرئيسي" وبعد أن تبلغ الشمس نهاية تتابعها الرئيسى فأنها ستتمدد لتصبح عملاقًا أحمر يبتلع الكواكب الداخلية (عطارد – الزهرة – الأرض) وهذا يشبه تقريبًا ما حصل فى وقت مبكر من تاريخ الشمس حين تمددت ليصبح قطرها أكبر كثيرًا مما هو عليه الآن. وفى ذلك الوقت. وقبل أن تكون قد تقلصت إلى حجمها الحالى فأنها كانت شبيه بنجوم "الثور" وهو نوع من النجوم يمكن رؤيته فى تلك البقاع من مجرتنا حيث تتكون فيها النجوم الآن وخلال مرورها بمرحلة نجوم الثور كان نصف قطر الشمس أكبر بأربع مرات تقريبا من قياسه الحالى الذى يساوى نحو ٧٠٠ ألف كيلو متر وفى وقت أبكر من هذا لابد من أن تكون الشمس الأولية قد تمددت إلى نحو ١.٥ بليون كيلو متر. وهذا يعادل ١٠ أمثال المسافة الفاصلة بين الأرض والشمس.

توفر نجوم الثور الحالية فرصة للفلكين ليعرفوا الشكل الذى كانت عليه الشمس فى المراحل المبكرة من تطورها وتشغل أقرب نجوم الثور موقعين يسميان سحابة الثور الجزيئية وسحابة حواء "رو" الجزيئية وكلاهما يقع على مسافة تبلغ نحو ٤٦٠ سنة ضوئية من الأرض. وحقيقة كون النجوم الفتية مغمورة دوما فى

مثل هذه التركيزات الغبارية من الغاز تعطى دليلاً مقنعًا على أصلها فالنجوم تولد من تركيز وانهيار القلوب الكثيفة للغيوم الهيدروجينية الجزيئية.

وفى عام ١٩٩٢م كانت النتائج الأولية التى قدمت وتتعلق بعمليات مسح عديدة ومختلفة للإشعاعات تحت الحمراء هدف رفقاء نجوم الثور فى سحابتى الثور وحواء. ودلت النتائج إلى أنه يوجد رفقاء نجميون لزهاء نصف نجوم الثور. ثم قام

العلماء بدراسة هذه الظاهرة فى مدى محدود من نحو ١٠ – ٤٠٠ وحدة فلكية. فقد أثبتت هذه الدراسة أن كمية النجوم الثنائية فى أفتى المنظومات تعادل ضعف عددها فى نجوم التتابع الرئيسى.

قام "لينزت" يعمل دراسة مماثلة للسابقة فى الأحوال الموجبة القريبة من تحت الحمراء فوجد لثلاثة وأربعين نجما من المائة والستة من نجوم الثور (١٠٦/٤٣ التى فحصوها رفقاء مجاورون وهذا يثبت ثانية أن النجوم الثنائية كانت أكثر شيوعًا بكثير فى هذه النجوم مما هى فى نجوم الأقزام البيضاء المماثلة لشمسنا.

وقام "ريبرت" بتصوير ١٦٠ نجما الثور فى طول موجى تحت الأحمر (ميكرون واحد) فوجد أن ٢٨ نجما رفيقا تقع على مسافة محصورة بين ١٠٠، ١٥٠٠ وحدة فلكية من نجوم الثور وهذا يزيد بمقدار الثلث على النجوم الهرمة التى هى من نمط الشمس فى ذلك المدى البعيد.

أما "سايمون" من جامعة نيويورك فقد بينت أعماله أن هناك نجوم رفيقة أقرب إلى نجوم الثور بكثير وأن جزءًا كبيرًا من النجوم هى نجوم ثنائية. وقد استخدام "ماثيو" وسيلة تقليدية لدراسة النجوم الثنائية إذا استخدم القياسات الطيفية لإزاحة دويلر الدورية ليبين أن لبعض نجوم الثور نجوما رفيقة لا تبعد عنها أكثر من وحدة فلكية واحدة. وهذا يبين مرة أخرى أن النجوم الثنائية التى تفصل بينها مسافات صغيرة أكثر شيوعًا فى نجوم الثور الفتية مما هى فى النجوم من نمط شمسنا.

عمر الأرض

من المعروف علميًا أن الكون قد تم تشكيله على مراحل تمتد على فترات زمنية طويلة لم يستطيع العلم تحديد مدتها ولو بصفة تقريبية وكل ما يمكن تحديده هو عصر تكون النظام الشمسى الذى تتبع له أرضنا منذ حوالى ٥ بليون سنة وأن الأرض عبر هذه المدة قد مرت بأربعة حقب جيولوجية أوضحتها الدراسات الحفرية والجيولوجية.

ويظهر أن العصر الأول من تاريخ الأرض يتسم بظهور الحياة بدليل الآثار التى عثر عليها فى طبقات أرضة من نباتية وحيوانية. وكان جو الأرض فى ذلك العصر غنى بثانى أكسيد الكربون وبخار الماء مما يشكل ستار للأرض بمنع برودتها فقد احتفظ سطح الأرض بدرجة حرارة مرتفعة جعلت الحياة النباتية فى ذروة النجاح ولقد عثر على أشجار صغيرة جدًا فى طبقات المناجم. ولقد كانت لقوة فعالية الحياة النباتية فى العصر الأول تأثير بالغ فى تاريخ فقد كانت النباتات الغزيرة تبتلع كميات كبيرة من ثانى أكسيد الكربون وتعوض الأجواء بكميات من الأكسجين الحر وهذه الكميات من الأكسجين الحر سببت مع مرور الزمن تحقيق أوضاع الأكسجين الحالية أما بالنسبة للحياة الحيوانية فى العصر الأول فأنها قد تكون بدأت بالانتشار فى البحار بشكل كائنات حية خالية العظام وأن الأسماك العظمية لم تظهر إلا فى أواخر العصر الأول.

وبينما كانت الأجواء تسير نحو القدرة على إنماء وتطور الكائنات الحية بسب النقصان التدريجى فى ثانى أكسيد الكربون وازدياد كمية الأكسجين كانت الحرارة مرتفعة وتميل إلى الانخفاض وكانت الأرض تميل بالتتابع إلى الصلابة وإلى اجتذاب طبقات من المواد تزيد فى سماكتها وبدأ عهد جديد من السكون النسبى والهدوء هو العصر الثانى.

ويتصف العصر الثانى بظهور الحيوانات ذات العمود الفقرى والأسماك ذات العمود الفقرى العظمى وظهرت الطيور والكائنات الحية الثديية وفى نصف الكرة الشمالى كانت توجد قارتين فقط يفصل بينهما بحر وفى نصف الكرة الجنوبى قارة واحد تمتد فى مكان أمريكا الجنوبية وأفريقيا.

وفى العصر الثالث ظهرت سلاسل الجبال وتحركت البراكين بقوة تفوق الحياة وبدأت الحياة الحيوانية بالتطور رويدًا رويدًا فى تكوينها بحيث أصبحت تقترب تدريجيًا من الكائنات الحية الحالية وتضمنت بعض الكائنات الحية الثديية بشكل جبار جعلها تسيطر على اليابسة. وعلاوة على ذلك ظهرت أشجار النخيل وفى ذلك

العصر فقد الجو كمية من حامض الكبريتيك وبخار الماء وأصبحت الأرض يسبب إشعاعها أمرا هاما ما إذا بدأت الحرارة بالانخفاض تدريجيا مع بقائها على كل حال فى درجة من الحرارة مرتفعة عن درجة الحرارة الحالية فى المناطق المشابهة.

وبتحليل بقايا النباتات تبين أن متوسط الحرارة فى المناطق الأوروبية كان يتجاوز ٢٥ درجة أى أن هذه المناطق تخضع لحرارة توازى حرارة المناطق الاستوائية فى الوقت الحاضر. ثم انخفضت درجة الحرارة وظهر الجليد على الجبال العالية وبظهور الجليد انتقلت أنواع النباتات والحيوانات إلى الأماكن الاستوائية وبقيت المناطق الشمالية غير صالحة لحياة تلك الأنواع وكانت اليابسة قد تطور إلى الشكل الذى هى عليه اليوم وأصبحت الأوضاع بكاملها مؤهلة لظهور وتطور الإنسان وكان ذلك فى بدء العصر الرابع من تاريخ الأرض.

والعصر الرابع فقد كان للرواسب دور هام فى هذا التكوين إذ أن تساقط الأمطار بكثرة وبقوة – الناتج عن تجمد بخار الماء فى الأجواء بسبب انخفاض الحرارة "الطوفان" فى القرآن الكريم.

أن تساقط الأمطار هذا كان عامًا شديدًا مما جعل سيل مياه الشتاء يترك رواسب أثناء سيره وفيها كميات من الحجارة الكريمة والذهب والبلاتين وفوقها كميات من التراب الصالح للزراعة. وفى نهاية العصر الرابع استيقظت البراكين ولا يزال آثار هياجها ظاهرة فى بعض المناطق وانسحبت على الأثر كميات الجليد وانتظمت بعد ذلك مع مرور الزمن أوضاع المناخ حتى وصل إلى أوضاعه الحالية.

ويقال أن الإنسان ظهر على الأرض فى العصر الرابع بدليل العثور على عظام بشرية فى أرض العصر المذكور وعدم العثور إطلاقا على مثل هذه العظام فى أراضى العصـور السابقة وبدليل العثور على بقايا أشياء مشغولة بيد الإنسان بدون أدنى ريب.

إن ما تقدم ذكره يشير إلى الأوضاع التى مر بها كوك بالأرض منذ نشأته ولا شك أننا لا نستطيع تحديد عمر الأرض بدقة كافية. وأن تحديد هذا العمر بدراسة هذه

العصور الأربعة صعبة جدا ولكن هذا لا يحول دون معرفة مقدرا تلك المدة (عمر الأرض).

ويحاول العلماء حساب المدة التى استغرقتها مياه البحار للوصول إلى الدرجة الحالية من الملاحة التى إصابتها سبب ما نقلته إليها مياه الأنهر من المواد المتفتتة من اليابسة أثناء انحدار تلك المياه فيسيرها نحو البحار وقد توصل العلماء لحساب عمر الأرض بهذه الطريقة فكانت مائة بليون سنة تقريبا.

بدأ علم الأرض الحديث منذ حوالى قرن مضى وقد كان تعيين عمر الأرض أحد مشاكله الرئيسية وبجانب الأهمية الأرضية لهذا التاريخ فإن أهمية كبرى من الناحية الفلكية كعلامات فى تاريخ المجموعة الشمسية (الشمس والكواكب والمذنبات والأجسام الأخرى التى تصحبها بالفراغ)، ولها أهمية بيلوجية لتقدير أقصى زمن كان متاحا لتطور الحياة على الأرض.

وقد قدر عمر الأرض بطرق مختلفة وفى أزمنة مختلفة ومن ضمن التقديرات المبكرة كانت حسابات "جيمس اشر" من أرماج بايرلاندا فى منتصف القرن السابع عشر. فقد أضاف ببساطة عدد السنين الناتجة من التفسير الحرفى للأجيال البشرية المتتابعة المسجلة بالإنجيل وبهذه الطريقة وجد أن الخلق قد تم فى يوم ٢٣ من أكتوبر سنة ٤٠٠٤ قبل الميلاد وعليه فأنه يمكن التعرف على عمر الأرض إلى حدود أيام وتبعا لهذه الحسابات يقترب عمر الأرض ٦٠٠٠ سنة فى أواخر القرن العشرين.

وهناك عمر أكبر قد حصل عليه "لورد كلفن" فى القرن التاسع عشر معتمدًا على درجة حرارة سطح الأرض فدرجة الحرارة تزداد كلما اتجهنا إلى مركز الأرض، وقد اعتبره أن داخل الأرض العميق منصهر وأنه فى وقت ما كانت الأرض كلها منصهرة ومن معرفة معدل فقد الحرارة كما قيس فى ممر نجم عميق تم حساب الوقت الكافى للقشرة الأرضية لكى تبرد إلى درجة الحرارة الحالية. وتمكن كلفن بهذه الطريقة من تقدير عمر الأرض بحوالى ٤٠ مليون سنة ويعتبر هذا العمر قليل جدًا وترجع هذه القلة فى تقدير عمر الأرض إلى التبسيطات الكثيرة التى أدخلها

كلفن على الحسابات وكذلك فرضة وجود عمليات أخرى تزيد من درجة حرارة الأرض خلال فترة التبريد.

وتشير الأدلة الجيولوجية إلى أن معظم مساحات سطح الأرض قد دخلت فى عدة دورات من عمليات تعرية وارتفاعات فى أوقات عديدة ومع بداية الاهتمام بظهور الملامح الجيولوجية لم يكن هناك أى دليل على وجود بداية وعلى ذلك فأن سطح الأرض سيكون عديم العمر. وتدل التقديرات الحديثة المنبعثة على تدفق الغرين فى الأنهار الأمريكية علما على أنه فى المتوسط، تعمل التعرية على خفض منطقة ما بمقدار ١/ ٣ متر تقريبا كل ٥٠٠٠ سنة لذلك فإن هضبة ترتفع ٣٠٠٠ متر سوف تتلاشى بعمليات التعرية هذه فى غضون ٤٥ مليون سنة.

إن العمليات التى اليوم قد أثرت بنفس الطريقة منذ ملايين السنين غير مقبولة بصفة عامة فى تلك الأزمنة ويقترح بعض العلماء بأن سطح الأرض بقى بدون تغيرات أساسية منذ فيضان "نوح" وعندما أوضحت الأبحاث وجود طبقات بعيد من الصخور "الطبقات" اقترحوا أنها رواسب ترسبت فى الفيضانات المبكرة والذى كان فيضان "نوح" آخرها.

وبدراسة سرعة الترسيب فى قاع البحار والمحيطات يمكننا تقدير طول الفترات الجيولوجية وذلك بقياس سمك طبقات الصخور المترسبة وتعيين معدل ما تحمله الأنهار إلى البحار والمحيطات من الملح يمكننا تقدير الفترة الزمنية التى استغرقها تجمع الملح الموجود وبالمقدار الذى الآن فى مياه البحار وعلى هذا الأساس توصل الجيولوجيون من تقدير فترات زمنية تبلغ عشرات ومئات الملايين من السنين للفترات الجيولوجية الأخيرة وحدها هذا وما زالت تقديرات عمر الأرض أقل من ذلك بكثير، وذلك لأن سرعة الترسيب تتوقف على عوامل كثيرة لا يمكن تقديرها بدقة بالنسبة للأزمنة الجيولوجية البعيدة. وبالتالى فإن هذه الطريقة لتحديد عمر الأرض يعطينا نتائج لا يعول عليها بالنسبة للصخور القديمة للغاية.

وفى عام ١٩٤٦م قدر الأكاديمى "شميت" عمر الأرض معتمدًا على نظريته

الكونية فحينما كانت تزال هناك فى بادئ الأمر عديد من الجسيمات فى السحابة نمت الكواكب بسرعة ولكن حينما أخذت الجسيمات فى النقصان، تضاءل معدل النمو، ولذا فاليوم نكاد أن نقول أنه ليست هناك أية زيادة فى كتلة الكواكب فمن الثابت أن المادة البين كوكبية ما تزال تتساقط على الأرض حتى الآن على شكل شهب وأجسام شهبية تتحلل وتتبخر فى طبقات الجو العليا فكل ٢٤ ساعة تسقط على الأرض مئات الأطنان من المواد الشهبية ولكن يمكن إهمال هذه الكمية تماما إذا ما قورنت بأبعاد الأرض وكتلتها إذا تستغرق المسألة ملايين الملايين من السنين لتغطى الأرض بطبقة من الغبار الشهبى سمكها ملليمتر واحد.

وعندما قدر شميت عمر الأرض اعتمد "النماء" الحالى لكتلة الأرض على حساب المادة الكونية المتساقطة وبالمعدل الذى قدر لهذا "النماء" والذى كان يقبله العلم فى ذلك الوقت (طن كل ٢٤ ساعة) وهكذا قدر شميت عمر الأرض بـ ٧٥٠٠ مليون سنة ولقد بينت الأبحاث التى بعد ذلك أن الزيادة الحالية فى كتلة الأرض أكبر من هذا وتكاد تصل فى حقيقة الأمر إلى مئات بل وربما آلاف الأطنان كل ٢٤ ساعة، ولكن عمر الأرض يجب أن يكون فى هذه الحالة حوالى ٥٠٠٠ أو ٦٠٠٠ مليون سنة طبقا لما تقدمه الحسابات.

وفى السنين الأخيرة نتج عن الإنجازات التى تمت فى الفيزياء النظرية من ناحية وفى علم الكون من ناحية أخرى وتقدم عمر الأرض نفسها فقد ساعدنا تحلل العناصر المشعة مثل "اليورانيوم" و "الثوريوم" و "البوتاسيوم" والعناصر الأخرى فى قياس الزمن وذلك لأن معدل تحللها ثابتًا فعلا فى كل مكان وأن هذا المعدل يكون ثابتا فى مدى التغيرات التى يمكن تكيفها فى معاملنا بل عند درجات الحرارة السائدة فى أعماق الأرض السحيقة أيضًا.

وفى الظروف الطبيعية حينما يوجد العنصر ذو النشاط الإشعاعى على الأرض فإن نسبة ذراته التى تتحلل فى مدى عام واحد ثابتة فى كل مكان وتحلل "اليورانيوم" و "الثوريوم" و "البوتاسيوم" بطئ جدًا إذ تتحلل نصف ذراته فقط خلال مئات الملايين من السنين ولذا فما زالت هذه العناصر موجودة حتى الآن

رغم أنه من الواضح أنه حتى خلال تكوين الأرض كانت لا تشكل الأجزاء صغيرة للغاية من مادتها فحسب.

وبقياس عدد الذرات المشعة فى أى معدن وكذا الذرات التى تكون ناتج تحللها وزيادة على ذلك معرفة معدل التحلل يصبح من الممكن حساب الزمن اللازم لتجميع كمية النواتج المتحللة بمعنى أنه يمكننا حساب عمر المعدن.

ورغم السهولة البادية لهذه الطريقة التى تستحق بها من عمر الخامات والمعادن يواجهنا تطبيقات العملى بالعديد من المصاعب، فإلى جانب أننا يجب أن نقيس كميات ضئيلة من الذرات يجب أن نختار عينة من معدن لن تتفاعل بنشاط مع بيئتها أى يجب اختبار عينة لم ينقص منها العنصر المشع ولا نواتج تحلله، ولم يضاف إليها أى شيء. ويجب التأكد من لحظة تكون المعدن لم يكن هناك رصاص ولا أى عنصر آخر من نواتج التحلل فى تكوينها البدائى وإذا حدث هذا فأنه يمكن تقدير الكمية الأولية.

وعموما فالصعوبات جمه ولكن حين نزيلها أو نتغلب عليها، تقدم لنا طريقة النشاط الإشعاعى العمر المطلق، دون أية فروض إضافية وحتى الآن فأن أكبر المعادن المشعة التى قيست من المعتقد أنها قد تكونت منذ ٢٠٠ إلى ٢٥٠٠ مليون سنة، ولكن وجدت معادن. فى السنوات الأخيرة عمرها يصل إلى ٣٠٠٠ مليون سنة. وعلى الرغم من العناصر المشعة أو نواتجها المتحللة فى تحديد العمر ولكن دقة وصحة النتيجة التى تصل إليها، تعتمد إلى حد كبير على دقة وصحة التطور المزعوم للعينة تحت الفحص التى يعتمد عليها العمر.

وبدراسة تركيب الرصاص من رواسب مختلفة وقياس كميات كل من نظائر الرصاص الموجودة فى مادة الأرض منذ البدايات الأولى والتى تبدو كتسلسل لتحلل اليورانيوم والثوريوم تبين أن الأرض عمرها ٣٥٠٠ مليون سنة. وعموما فهذه القيمة ليست هى عمر الأرض ولكنها عمر القشرة الأرضية، هذا مع تطبيق الفرض الذى ينادى بنشأة الأرض من الغازات الساخنة إلى درجة وتمزقها من الشمس.

وهناك نظيران لذرات اليورانيوم وزنها الذى ٢٣٨.٢٣٥ ويتحلل اليورانيوم ٢٣٥ بسرعة أكبر بكثير من اليورانيوم ٢٣٨ ولهذا السبب فهو يوجد فى الأرض اليوم بنسبة أقل ١٣٩ مرة وتبين الحسابات النظرية بأنه حين نشأ "اليورانيوم" كانت ذرات النظيرين موجودة معا بنفس النسبة تقريبا وإذا ما عرفنا فى هذه الحالة سرعة تحلل كل نظير يصبح من السهل حساب الوقت الذى يستغرقه اليورانيوم ٢٣٥ ليصبح أقل ١٣ مرة من اليورانيوم ٢٣٨ وهذا يثبت أن عمر اليورانيوم ومعه عمر الأرض بشكل عام يتراوح بين ٥٠٠٠ إلى ٧٠٠٠ مليون سنة.

لكى نقرب إلى الأذهان عملية تحلل المادة المشعة إلى مادة مشعة أخرى نضرب هذا المثال فمثلا يتحلل اليورانيوم ٢٣٨ إلى رصاص ٢٠٦ وتبلغ فترة نصف الحياة لهذا العنصر ٤٥٦٠ مليون سنة – فإذا كانت مثلا كمية أو كتلة اليورانيوم ٢٣٨ التى تكونت منذ بداية الكون مائة جرام فإن هذه الكمية ستنخفض نتيجة التحلل إلى ٥٠ جرام بعد ٤٥٦٠ مليون سنة وإلى ٢٥ جرام بعد ٩١٢٠ مليون سنة – يتحول عنصر اليورانيوم بهذا المعدل الثابت إلى طاقة فى هيئة إشعاعات وإلى عنصر الرصاص ٢٠٦ وهو عنصر ثابت ويمكن بقياس الرصاص الذى تكون نتيجة التحلل وبقياس كمية اليورانيوم الباقية الموجودة فى عينة من الصخور الأرضية أو القمرية يمكن معرفة عمر تلك الصخور أو بداية تكوينها.

أحضر رواد مركبة أبوللو الأمريكية فى يوليو من عام ١٩٦٩م عينة من الصخور القيمة وتم حساب عمر هذه الصخور القيمة بواسطة تحلل "الروبيديوم" المشع إلى "الاسترانثيوم" فبلغ ٤٦٠٠ مليون سنة وهو مقارب لعمر المجموعة الشمسية.

وعموما فكل الطرق الحديثة لتعيين عمر الأرض تقدم هذا السناريو عن تطور الأرض فبلغ ٤٦٠٠ مليون سنة وهو مقارب لعمر المجموعة الشمسية.

وعموما فكل الطرق الحديثة لتعيين عمر الأرض تقدم هذا السيناريو عن تطور الأرض.

فمنذ ما يقرب من ٦٠٠٠ مليون سنة مضت كانت المادة التى تكون الأرض الآن فى حالة ساعدت على تكوين الأنوية الذرية للعناصر المشعة.

وأخيرًا ولم يستغرق الأمر أكثر من مليون سنة – أعطت هذه المادة سحابة هائلة من الغبار الغازى أحاطت بالشمس بعد أن مرت بسلسلة من المراحل لم تدرس حتى الآن. وسرعان ما تحولت هذه السحابة إلى عدد قليل من الأجسام الكبيرة بما فيها أرضنا.

وقد صاحب تحلل العناصر المشعة انطلاق حرارة، وهربت الحرارة إلى الفضاء من الجسيمات الدقيقة ولكن حينما كونت الجسيمات جرما كبيرا (الأرض) بدأت الحرارة تتجمع فى داخلها وبدأ جزء من المادة الداخلية ينصهر منذ حوالى ٤٠٠٠ أو ٥٠٠٠ مليون سنة مضت.

وأجبرت المواد المنصهرة الأخف على الصعود إلى السطح تدريجيا وبمرور الوقت كونت القشرة الأرضية المكونة من الصخور ومعادن مختلفة وتتغير هذه القشرة طوال الوقت، فطبقاتها الفوقية تجرفها أنهار من الماء وتترسب ثانية فى قاع البحار والمحيطات وتنكسر الطبقات الرسوبية مكونة الثنايات وتشق أجزاء جديد من المادة الداخلية طريقها إلى القشرة طول الوقت ورغم ذلك أكتشف الجيولوجيون بعض المعادن القديمة التى يبلغ عمرها ٣٠٠٠ مليون سنة لم تحدث لها أية تغيرات أساسية بالعمليات الجيولوجية الأخيرة.

ويمكننا أن نصف المرحلة الحالية لتطور الأرض بأنها مرحلة النضج وستمر حوالى ألف مليون سنة أخرى وسيتسبب تبريد باطنها التدريجى فى ايطاء ثم تلاشى الحركات التى تحدث فيها.

وما زال العلم بعيد عن تصور العمر الذى ستعيشه الأرض وما سيكون عليه مستقبلها البعيد وعلى أى الأحوال يهتم علم الكون بدراسة ما مضى من زمن الأرض حتى الآن لأنه مفتاح الحاضر.

النسر الطائر
الدلفين
الدب
الحوت
الحمل
الحوت
العواء
الميزان
العقرب
القوس